



TITLE:

Novel topological superconductivity and bulk- boundary correspondence(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Daido, Akito

CITATION:

Daido, Akito. Novel topological superconductivity and bulk-boundary correspondence. 京都大学, 2020, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22237>

RIGHT:

第2章と第3章には著作権表示と出典の明記が必要. Ch.2: Z4 Topological Superconductivity in UCoGe, Akito Daido, Tsuneya Yoshida, and Youichi Yanase, Phys. Rev. Lett. 122, 227001 (2019) (©2019 American Physical Society) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.227001>; Ch.3: Chirality polarizations and spectral bulk-boundary correspondence, Akito Daido and Youichi Yanase, Phys. Rev. B 100, 174512 (2019) (©2019 American Physical Society) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.174512>

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	大同 暁人
論文題目	Novel topological superconductivity and bulk-boundary correspondence (新奇トポロジカル超伝導とバルクエッジ対応)		
(論文内容の要旨)			
<p>近年の物性物理学では、トポロジカルに非自明な物質が重要な研究対象となっている。大同暁人氏はトポロジカルに非自明な超伝導体、すなわちトポロジカル超伝導体に関する理論研究を行った。</p> <p>本学位論文の主要な内容は以下の2つからなる。</p> <p>【1】 非共型空間群に守られたメビウス型トポロジカル超伝導を実現する物質の提案</p> <p>【2】 カイラル対称な系における動的バルク境界対応の数学的証明</p> <p>以下において、これらを項目に分けて記述する。</p> <p>【1】 Z_4メビウス型トポロジカル超伝導</p> <p>強磁性超伝導体として知られているUCoGeが新奇なトポロジカル超伝導体であることを示した。結晶構造が映進（グライド）対称性を持つ場合に通常のトポロジカル周期表に含まれないZ_4トポロジカル数が存在することが知られている。大同氏はZ_4数を評価する一般公式を導出した。また、その公式をUCoGeに適用し、第一原理計算の結果に基づいて、Z_4数に特徴づけられたメビウス型トポロジカル超伝導体であることを示した。</p> <p>【2】 動的なバルク境界対応の証明</p> <p>トポロジカル物質においてはバルク境界対応が成り立つことが広く知られている。すなわち、トポロジカル物質の境界には特徴的な表面状態が存在する。一方、カイラル対称な系においては、トポロジカルなバルク境界対応の枠組みを超える動的なバルク境界対応が成立する。大同氏は「カイラリティ分極」の概念を新たに定義し、電気分極の幾何学的理論を用いることによって、動的なバルク境界対応に対する数学的証明を与えた。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

近年の物性物理学においてはトポロジカルに非自明な量子相の研究が盛んに行われている。トポロジカル絶縁体・半金属・超伝導体などがその代表的な例である。なかでも、トポロジカル超伝導体においてはバルク境界対応によりマヨラナ粒子が現れる例があり、物性物理学の枠を超えて素粒子物理学や量子情報科学などを含む幅広い研究領域において注目を集めている。

申請者である大同暁人氏は、トポロジカル超伝導体に関する理論研究を行った。本学位論文にまとめられた内容を以下において項目に分けて説明する。

【1】 Z_4 メビウス型トポロジカル超伝導体の物質予測

トポロジカル絶縁体や超伝導体の研究分野では、局所的な対称性（時間反転対称性、粒子-ホール対称性、カイラル対称性）に加えて結晶対称性に守られたトポロジカル相が重要な話題になっている。なかでも、非共型空間群に属する結晶では、波数空間にメビウスの輪のような構造があることに由来して特異なトポロジカル相が実現しうる。それらはメビウス型トポロジカル絶縁体・超伝導体と呼ばれているが、超伝導体における事例は知られていなかった。

大同氏は強磁性超伝導体UCoGeがスピン三重項超伝導体であることが確実視されていることに着目した。そして、精密な理論によりUCoGeがメビウス型トポロジカル超伝導体であることを示した。通常のトポロジカル相は整数あるいは Z_2 数で特徴づけられるのに対し、UCoGeの超伝導相は Z_4 数で特徴づけられることも興味深い結果である。その理論において大同氏は占有電子バンドの既約表現から Z_4 数を得る一般公式を得た。これは最近発展を続けている「対称性指標」の一例である。その公式とUCoGeの第一原理計算結果に基づいて、結晶対称性から許される全てのスピン三重項超伝導状態がメビウス型トポロジカル超伝導であることが示されている。 Z_4 メビウス型トポロジカル超伝導の実例を提案した初めての理論研究として顕著な重要性が認められる。

【2】 動的バルク境界対応の数学的証明

「トポロジカル絶縁体・超伝導体には特徴的な表面状態が現れる」というバルク境界対応がよく知られている。トポロジカル超伝導体におけるマヨラナ粒子はその代表的な例である。一方、トポロジカルではない量子相においてもバルク境界対応が成立することがある。その例として電気分極のベリー位相公式が知られており、電気分極は物質の幾何学的性質によってある程度決まっている。

大同氏は、カイラル対称性がある系において一般に成立するバルク境界対応を数学的に証明した。超伝導体やグラフェン、カーボンナノチューブなどのカイラル対称系において「カイラリティ分極」という量を定義し、それがバルクの性質のみから決まることを示した。このバルク境界対応は、系がトポロジカルであるか否かによらない一般的な性質である。超伝導体においては、奇周波数クーパ対の表面蓄積がバルクの波動関数で決まることを意味する。その関係は他グループにより提案されていたが、大同氏により数学的な証明が与えられたことは評価に値する。

申請者の研究成果はトポロジカル超伝導体の研究において重要な進展を与えた。また、今後の研究においても有用となることが期待される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。